

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication : **2 663 161**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **90 07167**

(51) Int Cl⁵ : H 01 L 31/153; G 02 B 6/42

(12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

(22) Date de dépôt : 08.06.90.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : 13.12.91 Bulletin 91/50.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : THOMSON-CSF — FR.

(72) Inventeur(s) : De Monts Humbert.

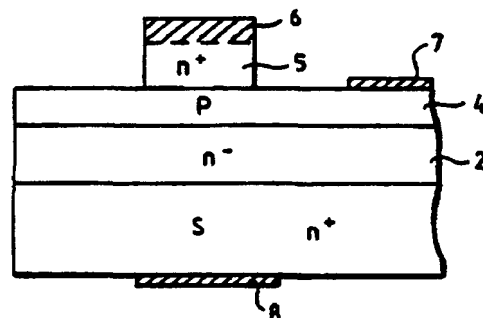
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : Lardic René.

(54) Guide d'onde optique à structure de transistor intégré et applications à la réalisation de modulateurs de lasers et de coupleurs optique.

(57) Guide d'onde optique comprenant, sur un substrat S, :
- une première couche (2) en semiconducteur dopé n, servant de collecteur pour le transistor de commande et de couche guidante;
- une deuxième couche (4) en semiconducteur dopé de type p et servant de base pour le transistor;
- une nervure (5, 6) en semiconducteur de type n servant au guidage latéral d'une onde optique et d'émetteur pour le transistor.

Applications: Guides d'onde
Modulateurs optiques
Commutateurs optiques
Coupleurs optiques.



FR 2 663 161 - A1



A

**GUIDE D'ONDE OPTIQUE A STRUCTURE DE
TRANSISTOR INTEGRE ET APPLICATIONS A LA
REALISATION DE MODULATEURS DE LASERS
ET DE COUPLEURS OPTIQUE**

L'invention concerne un guide d'onde optique à structure de transistor intégré c'est-à-dire une structure de guide d'onde intégrant un transistor permettant de commander la transmission optique dans le guide d'onde. Elle est applicable à la réalisation de modulateurs, de lasers et de coupleurs optiques.

Les semiconducteurs présentent actuellement un grand potentiel comme matériaux de base pour la réalisation de composants optoélectroniques. Les techniques de croissance (MOCVD) ou (MBE) permettent le contrôle des épaisseurs des couches à quelques dixièmes de nanomètres près et la croissance de différents types de semiconducteurs sur le même substrat. Les interfaces entre deux couches de semiconducteurs différents peuvent être abruptes et de très bonne qualité cristallographique induisant de très faibles pertes optiques (actuellement les pertes à la propagation sont inférieures à 0.2 dB/cm) et une concentration d'impuretés aux interfaces très faible (pour éviter les recombinaisons de charges).

D'autre part les techniques de microlithographie et les procédés d'attaque chimique sélective peuvent, à l'heure actuelle, permettre la réalisation de motifs de la taille du micron. L'attaque chimique sélective est contrôlée grâce à une couche d'arrêt et il est couramment réalisé des rubans d'épaisseur de quelques nanomètres et de largeur de l'ordre d'un micron sur une longueur de plusieurs centimètres.

Ainsi, par ces deux techniques, on peut réaliser des composants ayant des applications soit pour l'électronique, soit pour l'optique. Si les matériaux utilisés sont différents, il

est possible de faire croître des cristaux de tailles de mailles légèrement différentes les uns sur les autres ce qui permet d'utiliser par exemple des transistors d'AsGa sur des substrats d'InP. Dans ce cas, les deux fonctions transistors et guide,
5 laser ou modulateur sont intégrés sur le même substrat mais il faut les relier par des électrodes ce qui rend l'intégration moins aisée. La présence de connexions introduit des capacités parasites réduisant les performances de l'ensemble.

Si les matériaux sont identiques, il est donc possible
10 de regrouper dans la même structure un guide optique et un transistor bipolaire. L'intérêt d'une telle structure est d'éviter les connexions qui limitent en général la bande passante, et de permettre une intégration beaucoup plus dense.

Dans le cas présent les fonctions amplification de
15 courant et confinement de lumière ainsi que gain de lumière dans le cas d'une cavité laser sont intimement liées car le flux de courant de l'émetteur vers le collecteur passent à travers le flux de photons.

L'optimisation de la fonction transistor et de la
20 fonction guide optique peut être antinomique si l'utilisation de la base sert aussi de guide comme cela est représenté en figure 1, car les caractéristiques d'une bonne base de transistor bipolaire est la finesse de la couche associée à un fort dopage. Donc une couche avec ces caractéristiques va créer un faible
25 confinement du mode optique et des pertes en propagation très importante. Une structure de ce type est aussi très peu symétrique et donc provoque une différence entre le mode TE et TM conduisant à un fonctionnement de ce composant dépendant de la polarisation ce qui n'est pas, en général, souhaitable. En
30 plus, l'épaisseur de la base ne peut pas être réduite sinon la couche ne peut plus guider, le mode est à la coupure.

L'invention fournit une structure dans laquelle ces inconvénients sont résolus tout en conservant un bon recouvrement du mode optique et du courant amplifié par l'effet transistor.

L'invention concerne donc un guide d'onde optique à structure de transistor intégrée, caractérisé en ce qu'il comprend sur un substrat (S) :

- 5 - une première couche d'un matériau semiconducteur dopé d'un premier type (n par exemple) servant de collecteur de transistor ;
- une deuxième couche d'un matériau dopé d'un deuxième type (p par exemple) et servant de base du transistor ;
- 10 - au moins un premier élément en forme de nervure, dopé du premier type (n par exemple), situé sur la deuxième couche, permettant le confinement bi-dimensionnel d'un mode optique dans la structure et servant également d'émetteur de transistor ;
- 15 - la première couche étant en matériau transparent à au moins une longueur d'onde optique ayant un indice de réfraction optique supérieur à l'indice de réfraction du matériau de substrat S, de telle façon qu'un guidage optique puisse se faire dans cette première couche.

20 Dans la structure selon l'invention, le guide optique est intégré intimement au transistor ce qui permet un très bon recouvrement des deux fonctions amplification électrique et guidage de la lumière. Et il est aussi possible d'optimiser les caractéristiques du transistor sans trop nuire à la qualité du guide optique car la structure possède une couche guidante
25 séparée et distincte de la base du transistor.

D'autres avantages découlent de la combinaison de ces deux fonctions dans la même structure :

- la compacité,
- 30 - la possibilité de réaliser un modulateur, ou un commutateur de lumière, rapide, indépendant de la polarisation et avec une tension de commande très faible,
- la possibilité de réaliser un laser avec une tension de commande faible sur la base permettant dans la zone active d'injecter un courant avec gain.

L'invention concerne donc également un modulateur optique caractérisé en ce qu'il comporte des moyens d'alimentation en courant connectés aux premier et troisième contacts ohmiques et une source de tension commutable de commande connectée au deuxième contact ohmique.

L'invention concerne également un laser caractérisé en ce que la première couche sert de couche active du laser.

Enfin, l'invention concerne un coupleur optique caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième élément définissant la forme d'un deuxième guide d'onde et situé sur la deuxième couche, dopé également du premier type (n par exemple), ledit deuxième élément ayant au moins une portion proche du premier élément de telle façon qu'il puisse y avoir un couplage optique entre le premier guide d'onde et le deuxième guide d'onde.

Les différents objets et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description qui va suivre et dans les figures annexées qui représentent :

- la figure 1, un dispositif connu dans la technique et décrit précédemment ;

- les figures 2a et 2b, un exemple de réalisation simplifié d'un dispositif guide d'onde selon l'invention ;

- la figure 3, un exemple de réalisation détaillée d'un dispositif guide selon l'invention ;

- la figure 4, un exemple de fonctionnement du dispositif de la figure 3 ;

- la figure 5, une variante de réalisation du dispositif de la figure 3 ;

- les figures 6 et 7, un dispositif de couplage optique selon l'invention ;

- la figure 8, un dispositif laser à semiconducteur selon l'invention.

En se reportant aux figures 2a et 2b, on va tout d'abord décrire un exemple de réalisation simplifié d'un guide d'onde optique selon l'invention. Ce dispositif comporte, sur un substrat S, une couche 2 d'un matériau dopé de type n et une

couche 4 d'un matériau dopé de type p. Sur la couche 4, se trouve un élément constitué de deux couches 5 et 6. Cet élément a une forme déterminée, linéaire par exemple comme cela est représenté en figure 2b. La couche 5 est fortement dopée de type n.

Par ailleurs, le substrat S permet également un contact électrique à la couche 2. Par exemple il est fortement dopé de type n⁺ et possède une plage de connexion électrique 8.

La couche 6 constitue une connexion électrique et la couche 4 possède une plage de connexion électrique.

La structure de la figure 2a constitue donc une structure de transistor dans laquelle la couche 5 est l'émetteur, la couche 4 est la base et la couche 2 est le collecteur.

La couche 2 au moins est en matériau transparent à la longueur d'onde à guider dans le guide d'onde.

L'indice de réfraction de la couche 2 est supérieur aux indices de réfraction du substrat S et de la couche 4. La couche 2 sert donc de couche guidante. On voit donc que c'est la couche servant de collecteur qui sert de couche guidante.

Pour faire fonctionner une telle structure on connecte une source de courant aux contacts 6 et 8. Une tension appropriée appliquée au contact 7 permet de rendre le transistor passant. Un courant circule entre le contact 6, l'émetteur (couche 5) et le collecteur (couche 2) vers le contact 8. L'indice de réfraction de la couche 2 est modifié en fonction de l'intensité du courant et la circulation d'une onde optique dans la couche 2 en-dessous de l'élément 5-6 est modifié en conséquence.

La figure 3 représente un exemple de réalisation détaillé du guide d'onde selon l'invention.

A partir du substrat S semiconducteur dopé (par exemple InP), on dépose par les techniques de dépôt (MOCVD) ou (MBE), une couche tampon 1 faiblement dopée, puis une deuxième couche 2 d'un matériau différent et d'indice supérieur

à la couche 1 cette couche constitue principalement la zone guidante de la structure.

5 Ensuite, on peut placer une couche tampon 3, dopée, d'indice optique plus faible que la couche 2. Puis on met une couche servant de base au transistor dopé d'un type différent des autres couches. Puis une couche 5 dopée du même type que le substrat et les couches 1,2 et 3.

10 La couche qui permet le guidage a une épaisseur calculée pour obtenir un bon confinement du mode optique dans les couches faiblement dopées 1,2,3. La couche 4 est choisie pour obtenir une base d'un transistor bipolaire performant (dopage important et épaisseur réduite). La couche 5 est réduite soit pendant la croissance soit par diffusion après la croissance.

15 La couche 5 a une forme et des dimensions qui définissent la forme et les dimensions (longueur et largeur) du guide d'onde à réaliser. Elle a, par exemple, une forme analogue à celle représentée en figure 2a.

20 Les contacts ohmiques 6,7,8 sont réalisés sur les couches dopées en utilisant les techniques classiques de déposition de métal ou d'alliage de métaux.

25 L'accès à la base (couche 4) est réalisé par attaque chimique sélective à travers un masque de résine avec formation de l'élément pour obtenir à la fois le confinement bi-directionnel du mode optique en-dessous de cet élément. A côté de cet élément le contact ohmique 7 est réalisé sur la couche 4. Les trois points de contacts électriques 6,7,8 nécessaires au fonctionnement du transistor sont donc le haut de l'élément 5 avec éventuellement un plot de report pour faciliter la prise de contact, la couche 4 à côté de l'élément 5 et la face arrière du substrat S.

30 La structure décrite précédemment fonctionne de manière privilégiée en mode amplification de courant pour réaliser un modulateur par injection de charges. La tension de commande sur la base (couche 4), permet par de p tites

variations d'injection un courant avec un gain important entre l'émetteur (couche 5) et le collecteur (couche 1,2,3) et donc de moduler la lumière guidée entre la base et le collecteur.

5 Sur la figure 4, on voit les lignes du courant injecté entre l'émetteur et le collecteur et, schématisée par un ovale G, la zone de guidage.

Selon l'exemple de matériaux et de dopages de la figure 3, la structure présente les caractéristiques suivantes :

- 10
- Substrat : InP dopé n^+ à 10^{18}
 - Couche 1 : InP dopé n^- à 10^{15} et épaisseur 500 nm
 - Couche 2 : InGaAsp dopé n^- à 10^{15} et épaisseur 500 nm
 - Couche 3 : InP dopé n^- à 10^{15} et épaisseur 500 nm
 - Couche 4 : InGaAsp dopé p à 10^{18} et épaisseur 100 nm
 - 15 - Couche 5 : InP dopé n^+ à 10^{17} et épaisseur 500 nm.

20 Cette structure fonctionne par exemple avec une tension émetteur-collecteur de 3 Volts et la commutation peut se faire avec une tension de base-collecteur variante entre 0,5 et 0,8 Volts.

La tension de commande de base peut donc être très faible par contre la puissance d'alimentation émetteur collecteur pourra être très forte ce qui permettra de faire fonctionner cette structure à très haute fréquence.

25 Notamment, en utilisant cette structure en modulateur optique, l'onde optique transmise dans le guide optique pourra être modulée par le courant injecté et le modulateur selon la fréquence alternative de la tension de commande de la base (couche 4) on pourra obtenir une modulation haute fréquence.

30 La figure 5 représente un dispositif comportant un perfectionnement par rapport à celui de la figure 3. En effet, dans ce dispositif la base du transistor (couche 4) est limitée de part et d'autre de l'élément 5. On réduit ainsi la jonction p-n base-émetteur à la zone strictement nécessaire au

fonctionnement du dispositif. On élimine ainsi des capacités parasites et on augmente les performances en fréquences élevées.

La figure 6 représente un coupleur optique appliquant l'invention. Il comporte, sur un substrat S recouvert des couches 1,2,3 et 4, un élément 5-6 formant un premier transistor et un premier guide d'onde avec les couches 1,2,3. En supplément, à proximité de l'élément 5-6 est localisé un autre élément 15-16 similaire à l'élément 5-6. Cet élément 15-16 forme un deuxième transistor avec les couches 1,2,3 et un deuxième guide d'onde.

Associé à chaque transistor, c'est-à-dire sur la figure 6 associé à chaque élément 5-6 et 15-16 est associé un contact ohmique de base 7 pour la base du transistor comportant l'élément 5-6 et 17 pour la base du transistor comportant l'élément 15-16. Ces contacts ohmiques 7 et 17 sont disposés à des extrémités opposées de la structure par rapport aux éléments 5-6 et 15-16.

Cette structure peut fonctionner comme un commutateur de lumière avec cote à cote deux guides formant un coupleur directionnel. Dans ce cas, les transistors sont couplés ainsi que les guides, les bases sont reliées par la résistance R que crée la couche entre les deux éléments 5-6 et 15-16. Avec une tension différentielle très faible entre les deux bases des transistors, le flux de charges ira dans un seul des deux guides créant une différence d'indice permettant la commutation de la lumière d'un guide à l'autre. Dans ce cas, on utilisera les propriétés du coupleur directionnel en jouant sur le déphasage induit par l'injection de porteurs et les propriétés d'une paire de transistors liée par un collecteur unique ayant une résistance entre les deux bases.

Il est aussi possible de séparer les deux bases des transistors, tout en conservant le couplage optique des deux guides. Pour cela, on peut, par exemple, comme cela est représenté en figure 7, prévoir une interruption dans la couche 4 entre les deux éléments 5-6 et 15-16.

Grâce au gain important de courant électrique que produit la fonction transistor, la longueur du composant des figures 6 et 7 peut être réduite d'autant, permettant un fonctionnement en haute fréquence et une plus grande intégration.

Il faut aussi isoler les zones où la jonction p/n en dehors du composant pourraient introduire une capacité parasite en diffusant des zones de diffusion, ou par une attaque de la base (couche 4) autour des éléments 5-6 et 15-16, tout en conservant une petite zone pour prendre les contacts 7 et 17 latéralement.

Egalement, la structure décrite dans l'invention, peut s'appliquer à des lasers fonctionnant à haute fréquence. Les étapes technologiques pour permettre le fonctionnement en haute fréquence seront les mêmes que pour une structure classique avec un contact supplémentaire qui est celui de l'émetteur.

La figure 8 représente une telle structure laser. Cette structure est similaire à celle de la figure 3 avec la couche 4 servant de zone active. La zone active Q est comprise entre des zones dopées p et n. Une injection de courant sera réalisée dans la zone active Q. Ce courant va peupler en électrons la zone active Q et on aura une émission laser comme cela est représenté en figure 8.

REVENDECATIONS

1. Guide d'onde optique à structure de transistor intégrée, caractérisé en ce qu'il comprend sur un substrat (S) :

5 - une première couche (2) d'un matériau semiconducteur dopé d'un premier type (n par exemple) servant de collecteur de transistor ;

 - une deuxième couche (4) d'un matériau dopé d'un deuxième type (p par exemple) et servant de base du transistor ;

10 - au moins un premier élément (5,6) en forme de nervure, dopé du premier type (n par exemple), situé sur la deuxième couche (4), permettant le confinement bi-dimensionnel d'un mode optique dans la structure et servant également d'émetteur de transistor ;

15 - la première couche étant en matériau transparent à au moins une longueur d'onde optique ayant un indice de réfraction optique supérieur à l'indice de réfraction du matériau de substrat (S) de telle façon qu'un guidage optique puisse se faire dans cette première couche.

20 2. Guide d'onde optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première couche (2) est comprise entre une troisième et une quatrième couches (1 et 3) en matériaux dopés du premier type (n selon l'exemple pris) et d'indices de réfraction inférieurs à celui du matériau de la première couche (2).

25 3. Guide d'onde optique selon la revendication 2, caractérisé en ce que les troisième et quatrième couches (1 et 3) ont un taux de dopage sensiblement équivalent à celui de la première couche (2) de façon à ce qu'elles constituent avec la première couche (2) le collecteur du transistor.

30 4. Guide d'onde optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que :

- l'émetteur possède à sa partie supérieure une couche de contact (6) permettant de réaliser un premier contact ohmique,

- la base possède également une zone de contact (7) permettant de réaliser un deuxième contact ohmique,

5 - le substrat (S) est dopé en totalité ou en partie selon le premier type de dopage de façon à fournir un élément de contact de collecteur pour réaliser également un troisième contact ohmique.

10 5. Guide d'onde optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les dimensions de la deuxième couche (4) sont limitées selon le plan de la couche sensiblement aux dimensions du guide optique selon ce plan.

15 6. Modulateur optique appliquant le guide d'onde selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens d'alimentation en courant connectés aux premier et troisième contacts ohmiques et une source de tension commutable de commande connectée au deuxième contact ohmique.

20 7. Laser appliquant le guide d'onde selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première couche sert de couche active du laser.

25 8. Coupleur optique appliquant le guide d'onde selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième élément (15,16) définissant la forme d'un deuxième guide d'onde et situé sur la deuxième couche (4), dopé également du premier type (n par exemple), ledit deuxième élément ayant au moins une portion proche du premier élément (5,6) de telle façon qu'il puisse y avoir un couplage optique entre le premier guide d'onde et le deuxième guide d'onde.

30 9. Coupleur optique selon la revendication 7, caractérisé en ce que la deuxième couche (4) est interrompue entre le premier élément (5,6) et le deuxième élément (15,16) pour réaliser un découplage électrique.

1/5

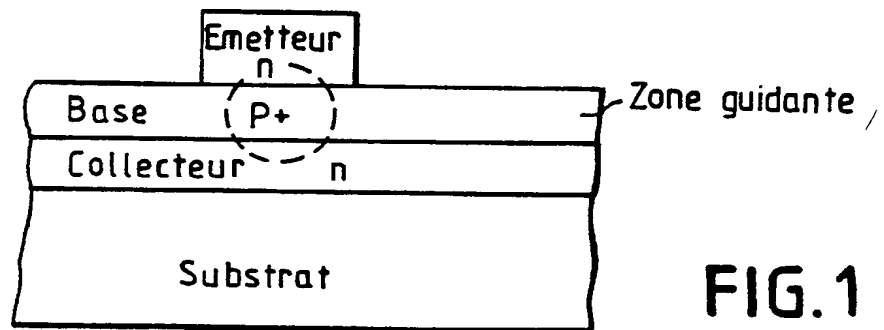


FIG. 1

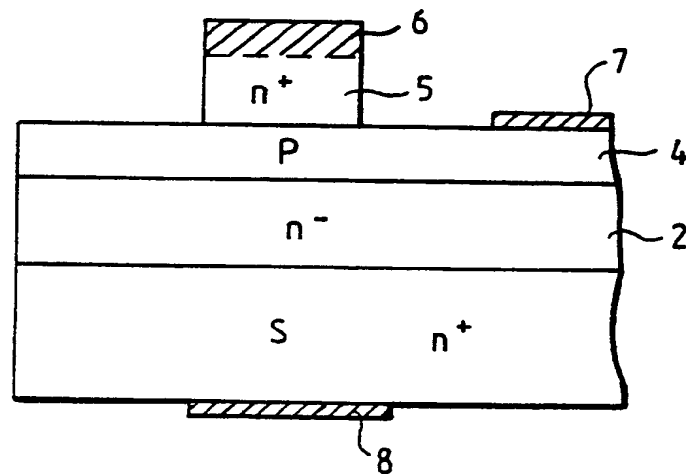


FIG. 2a

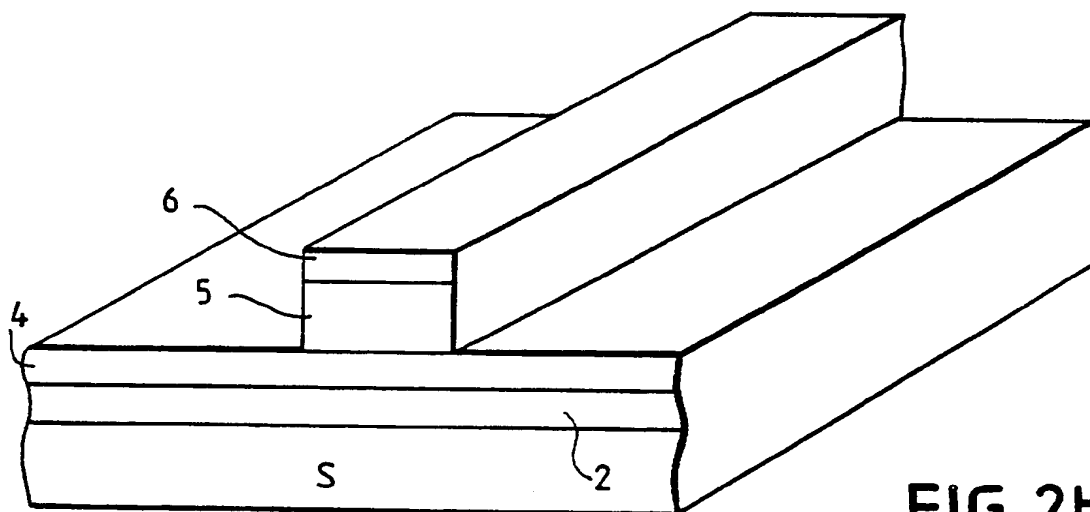


FIG. 2b

2/5

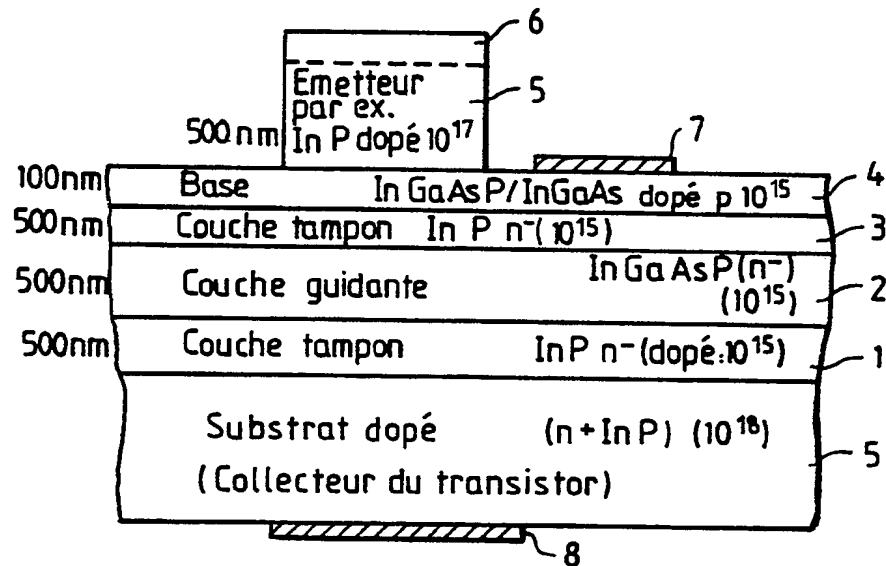


FIG. 3

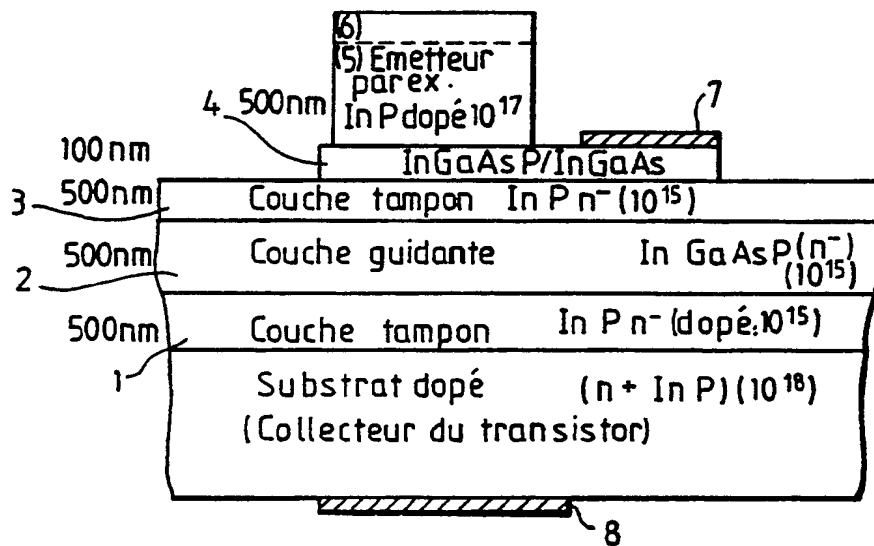


FIG. 5

3/5

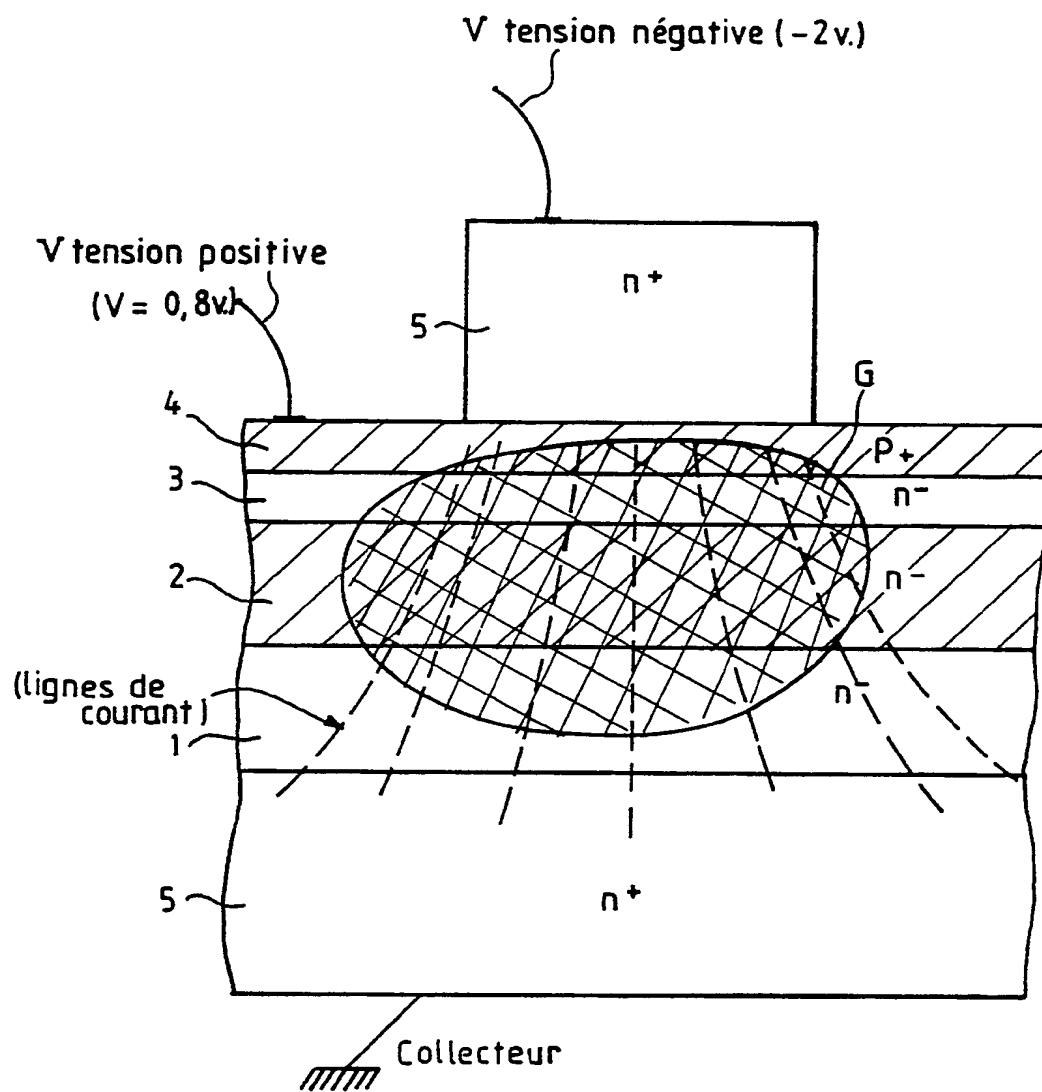


FIG. 4

4/5

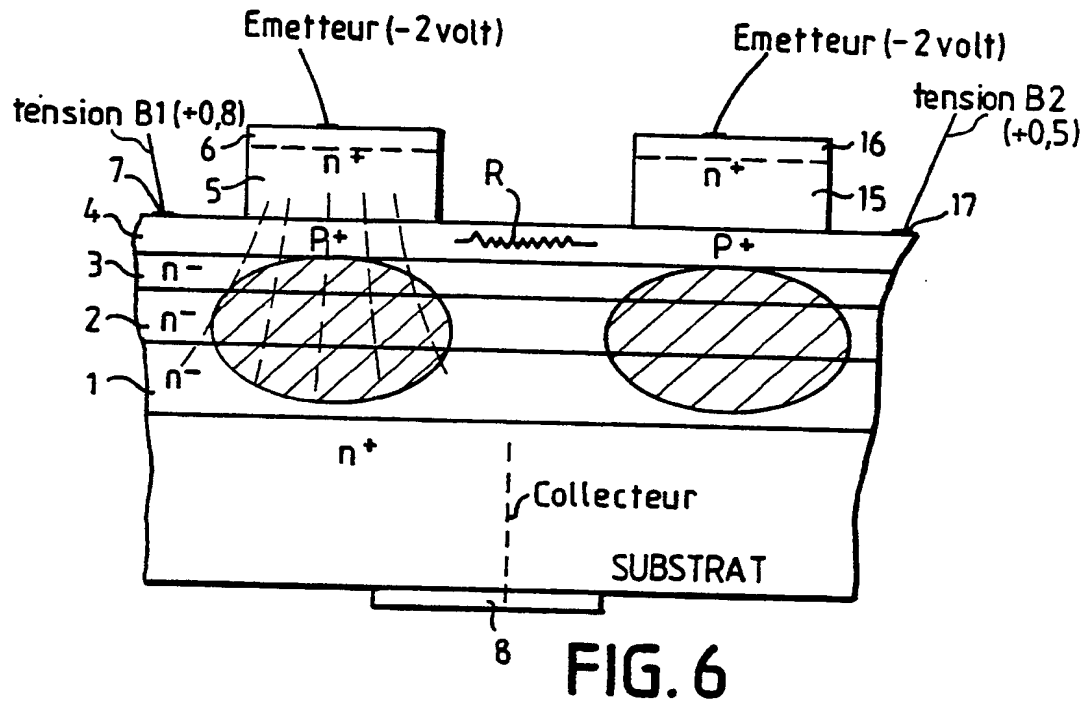


FIG. 6

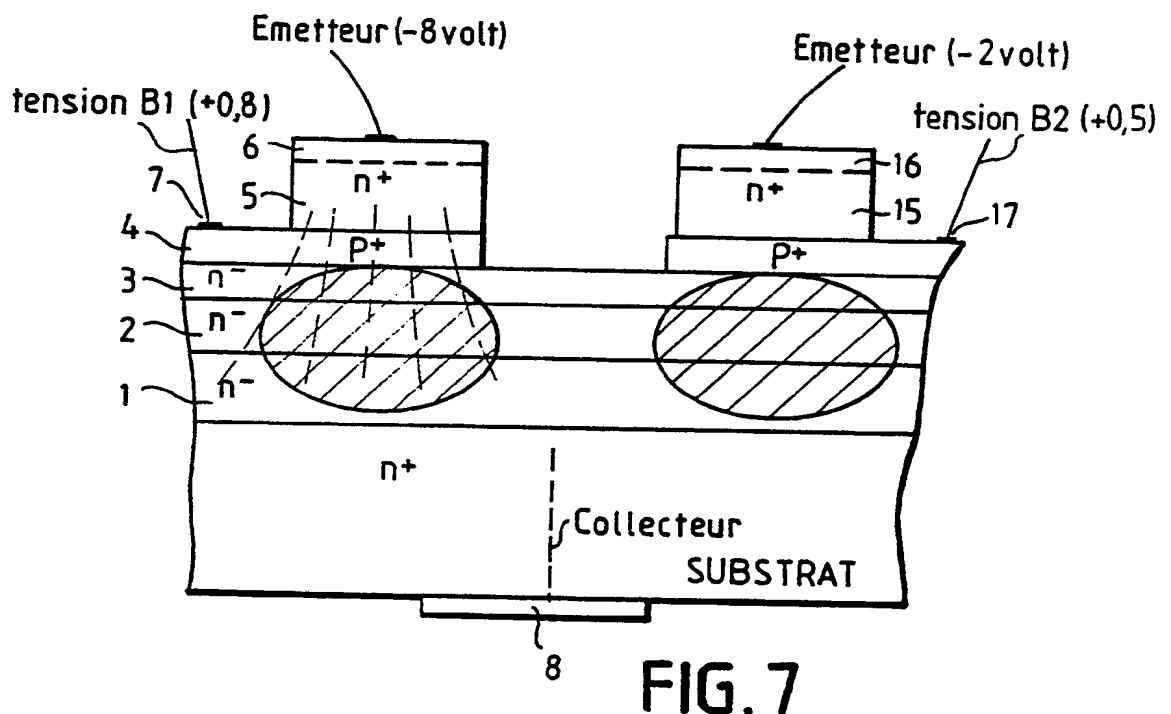


FIG. 7

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FR 9007167
FA 446425

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	EP-A-0 347 232 (GEC-MARCONI) * Abrégé; colonne 1, ligne 1 - colonne 2, ligne 13; colonne 3, lignes 8-44; revendications; figures 1-2 * ---	1,4,6,8 -9
A	APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 55, no. 25, décembre 1989, pages 2591-2593; Y. OKADA et al.: "Optical intensity modulator for integrated optics by use of a heterojunction bipolar transistor waveguide structure" * Abrégé; page 2591, ligne 1 - page 2592, ligne 28; tableau I; figure 1 * ---	1-2,4,6
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 14, no. 31 (P-993), 22 janvier 1990; & JP-A-01 270 035 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 27-10-1989 * Abrégé *	1,4,6
A	EP-A-0 236 189 (D. ANKRI et al.) * Abrégé; revendication 1; figure 1 * -----	7
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G 02 F H 01 S
Date d'achèvement de la recherche 19-02-1991		Examinateur IASEVOLI R.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)

5/5

FIG.8

